

УДК 621.923

В. И. ПОЛЯНСКИЙ**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВЫСОКОТОЧНОЙ И ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Приведены аналитические зависимости для определения величины упругого перемещения, возникающего в технологической системе, и основного времени обработки при шлифовании и лезвийной обработке. Показана эффективность уменьшения основного времени обработки при заданной величине упругого перемещения путем существенного увеличения скорости детали, количества проходов шлифовального круга и уменьшения уточнения на проходе круга фактически до единичного значения при шлифовании по схеме выхаживания. Показана также целесообразность осуществления выхаживания в несколько проходов круга с уточнением, равным числу $\epsilon \approx 2,72$. Доказано, что в этом случае основное время обработки больше минимально возможного значения в 2,72 раза. Для уменьшения основного времени обработки на эту величину предложено накладывать на шлифовальный круг ультразвуковые колебания в направлении подачи. Предложено также существенно увеличивать скорость детали при круглом врезном шлифовании, уменьшая уточнение на проходе круга фактически до единичного значения. Показано, что при лезвийной обработке одновременно уменьшить величину упругого перемещения и основное время обработки можно, главным образом, путем увеличения скорости резания.

Ключевые слова: шлифование, схема выхаживания, лезвийная обработка, упругое перемещение, основное время обработки, уточнение, высокоскоростное резание, качество обработки.

В. І. ПОЛЯНСЬКИЙ**ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ УМОВ ВИСОКОТОЧНОЇ ТА ВИСОКОПРОДУКТИВНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Наведено аналітичні залежності для визначення величини пружного переміщення, що виникає в технологічній системі, та основного часу обробки при шліфуванні та лезовій обробці. Показано ефективність зменшення основного часу обробки при заданій величині пружного переміщення шляхом суттєвого збільшення швидкості деталі, кількості проходів шліфувального круга і зменшення уточнення на проході круга фактично до одиничного значення при шліфуванні за схемою виходжування. Показано також доцільність здійснення виходжування в декілька проходів круга з уточненням, що дорівнює величині $\epsilon \approx 2,72$. Доведено, що в цьому випадку основний час обробки більше мінімально можливого значення в 2,72 рази. Для зменшення основного часу обробки на цю величину запропоновано накладати на шліфувальний круг ультразвукові коливання в напрямку подачі. Запропоновано також суттєво збільшувати швидкість деталі при круглому врізному шліфуванні, зменшуючи уточнення на проході круга фактично до одиничного значення. Показано, що при лезовій обробці одночасно зменшити величину пружного переміщення і основний час обробки можна, головним чином, шляхом збільшення швидкості різання.

Ключові слова: шліфування, схема виходжування, лезова обробка, пружне переміщення, основний час обробки, уточнення, високошвидкісне різання, якість обробки.

V. I. POLYANSKIY**THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE CONDITIONS OF HIGH-PRECISION AND HIGH-PERFORMANCE MACHINING OF MACHINE PARTS**

Analytical dependences are given to determine the amount of elastic displacement that occurs in the technological system and the main processing time during grinding and blade processing. The effectiveness of reducing the main processing time for a given value of elastic displacement by significantly increasing the speed of the part, the number of passes of the grinding wheel and reducing the refinement on the passage of the wheel to virtually a single value when grinding according to the nursing scheme is shown. The expediency of nursing in several passes of the circle with a refinement equal to the number $\epsilon \approx 2.72$ is also shown. It is proved that in this case the main processing time is 2.72 times longer than the minimum possible value. To reduce the main processing time by this value, it is proposed to impose ultrasonic vibrations on the grinding wheel in the feed direction. It is also proposed to significantly increase the speed of a part during round flush grinding, reducing the refinement in the passage of the circle to actually a single value. It is shown that during blade cutting, the elastic displacement and the main processing time can be simultaneously reduced mainly by increasing the cutting speed.

Key words: grinding, nursing pattern, blade processing, elastic movement, main processing time, refinement, high-speed cutting, machining quality.

Введение. Современное машиностроение требует изготовления высокоточных деталей машин на основе применения эффективных технологий финишной механической обработки. В успешном решении этой задачи важная роль принадлежит методам шлифования, обеспечивающим высокие показатели точности и качества обрабатываемых поверхностей, однако характеризующихся относительно низкой производительностью обработки. В связи с этим все чаще в производственных условиях на финишных операциях вместо шлифования используются методы лезвийной обработки (точение, растачивание, фрезерование и т.д.) современными металлорежущими

инструментами. Благодаря высокой режущей способности этих инструментов, изготовленных из синтетических сверхтвердых материалов (СТМ), твердых сплавов и керамических материалов с износостойкими покрытиями, обеспечиваются более высокие показатели производительности обработки, чем при шлифовании. Поэтому чрезвычайно актуальна задача разработки эффективных высокопроизводительных процессов шлифования, позволяющих одновременно повысить точность и особенно производительность обработки до уровня финишной лезвийной обработки и выше. Это требует проведения дальнейших теоретических исследований процесса шлифования и установления оптимальных

условий обработки по критерию наибольшей производительности с учетом ограничения по точности обработки.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам повышения точности и производительности обработки при шлифовании в научно-технической литературе уделено достаточно большое внимание. В работах [1-3] приведены теоретические решения, позволяющие определить основные условия повышения точности и производительности обработки. В работе [4] приведены аналитические зависимости для определения минимально возможного основного времени обработки при многопроходном шлифовании по схеме выхаживания с учетом ограничения по величине упругого перемещения, возникающего в технологической системе. Показано, что эффективно сьем припуска осуществлять за определенное количество проходов круга, при котором основное время обработки принимает наименьшее значение. Однако в приведенных теоретических решениях в одних случаях учитывается, а в других – не учитывается изменение фактической глубины шлифования в связи с возникновением упругих перемещений. Это приводит к различным аналитическим решениям и сделанным на их основе выводам. Поэтому важно с единых позиций оценить роль величины упругого перемещения в формировании погрешности обработки и на этой основе обосновать условия повышения точности и производительности при шлифовании и лезвийной обработке. Это требует дальнейшего развития теоретического подхода к определению параметров точности и производительности обработки, предложенного в работе [4].

Цель работы – теоретическое обоснование условий повышения точности и производительности обработки при шлифовании и лезвийной обработке и разработка практических рекомендаций.

Изложение основного материала. В работе [5] показано, что при многопроходном шлифовании по жесткой схеме величина упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, с увеличением количества проходов круга n непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к установившемуся значению $y_{уст}$ (рис. 1,а). При шлифовании по схеме выхаживания, наоборот, величина упругого перемещения y непрерывно уменьшается, начиная с глубины шлифования t и приближаясь к нулевому значению (рис. 1,б). Следовательно, для достижения требований по точности обработки необходимо использовать схему выхаживания.

С целью исключения переходного процесса, связанного с достижением установившегося значения упругого перемещения (рис. 1, а), в технологической системе создается необходимый натяг. Далее обработка осуществляется в установившемся режиме.

На заключительном этапе шлифования используется схема выхаживания.

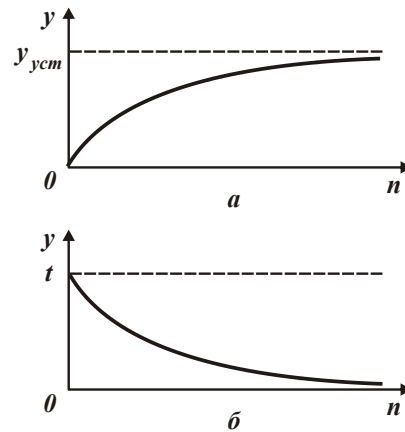


Рис. 1 – Характер изменения величины упругого перемещения y от количества проходов круга n : а – при шлифовании по жесткой схеме и б – выхаживании

В работе [5] предложено сьем всего припуска производить по схеме выхаживания, создавая в технологической системе начальный натяг, равный снимаемому припуску. Это обеспечивает максимально возможную производительность при заданной точности обработки. В связи с этим важно теоретически обосновать условия повышения точности и производительности обработки при выхаживании. Для решения поставленной задачи следует воспользоваться результатами исследований, приведенных в работе [5], применительно к процессу плоского многопроходного шлифования по схеме выхаживания. В данном случае радиальная составляющая силы резания P_y равна упруго-восстанавливающей силе $c \cdot y$, где c – приведенная жесткость технологической системы, Н/м. Тогда

$$y = \frac{P_y}{c} = \frac{P_z}{c \cdot K_{ш}} = \frac{\sigma \cdot Q}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} = \frac{\sigma \cdot B_1 \cdot V_{дем} \cdot (t - y)}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}, \quad (1)$$

где $P_y = P_z / K_{ш}$; $P_z = \sigma \cdot Q / V_{кр}$ – тангенциальная составляющая силы резания, Н; $K_{ш}$ – коэффициент шлифования; σ – условное напряжение резания, Н/м²; $Q = B_1 \cdot V_{дем} \cdot (t - y)$ – фактическая производительность обработки, м³/с; B_1 – ширина шлифования, м; $V_{дем}$ – скорость детали, м/с; t – номинальная глубина шлифования, м; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с.

Разрешая зависимость (1) относительно величины упругого перемещения y , получено:

$$y = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot B_1 \cdot V_{дем}}\right)} = \frac{t}{\varepsilon}, \quad (2)$$

где $\varepsilon = 1 + \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot B_1 \cdot V_{дем}}$ – уточнение на проходе шлифовального круга.

Как видно, с каждым последующим проходом круга n величина ε остается неизменной, а фактическая глубина шлифования $t/\varepsilon \dots t/\varepsilon^{n-1}$ уменьшается. Величина упругого перемещения y_n (на n -ом проходе круга) принимает вид:

$$y_n = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot B_1 \cdot V_{дем}}\right)^n} = \frac{t}{\varepsilon^n}. \quad (3)$$

Следовательно, с увеличением n величина упругого перемещения y_n уменьшается. Это свидетельствует об эффективности применения схемы выхаживания на заключительном этапе шлифования для обеспечения заданной точности обработки, определяемой величиной y_n .

Очевидно, с увеличением n основное время обработки τ будет увеличиваться. Поэтому важно определить условия шлифования, при которых τ принимает наименьшее значение. Для этого следует выразить τ через суммарное уточнение $\varepsilon_{сум}$, которое, как известно, определяется зависимостью [5]: $\varepsilon_{сум} = t/y_n = \varepsilon^n$. Следовательно, при заданном значении $\varepsilon_{сум}$ с увеличением n уточнение на проходе круга ε будет уменьшаться $\varepsilon \rightarrow 1$.

В общем виде основное время обработки τ описывается зависимостью:

$$\tau = \frac{n \cdot L}{V_{дем}}, \quad (4)$$

где L – длина хода стола станка, м.

Выражая скорость детали $V_{дем}$ через уточнение на проходе круга ε и подставляя полученное выражение в зависимость (4), имеем:

$$\tau = \frac{n \cdot L \cdot \sigma \cdot B_1}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot (\varepsilon - 1) = \frac{n \cdot L \cdot \sigma \cdot B_1}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{сум}^n} - 1 \right). \quad (5)$$

Как видно, увеличение количества проходов круга n неоднозначно влияет на основное время обработки τ . Поэтому следует провести анализ первой производной функции τ (определяющей тангенс угла наклона функции τ) от n :

$$\tau'_n = \frac{L \cdot \sigma \cdot B_1}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_{сум}^n} \cdot \left(1 - \frac{\ln \varepsilon_{сум}}{n} \right) - 1. \quad (6)$$

Очевидно, первая производная функции τ'_n – отрицательная величина, стремящаяся к нулю при $n \rightarrow \infty$. Следовательно, основное время обработки τ с увеличением количества проходов круга n уменьшается, асимптотически приближаясь к

постоянному значению, определяемому по правилу Лопиталя при неопределенности $\left(\frac{0}{0}\right)$:

$$\tau_n = \frac{L \cdot \sigma \cdot B_1}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\left(\frac{1}{\varepsilon_{сум}^n} - 1 \right)}{\left(\frac{1}{n} \right)} = \frac{L \cdot \sigma \cdot B_1}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \ln \varepsilon_{сум}. \quad (7)$$

Отношение значений основного времени обработки τ при $n=1$ и $n \rightarrow \infty$ определяется:

$$\frac{\tau}{\tau_n} = \frac{(\varepsilon_{сум} - 1)}{\ln \varepsilon_{сум}}. \quad (8)$$

С увеличением суммарного уточнения $\varepsilon_{сум}$ отношение τ/τ_n увеличивается (табл. 1). Следовательно, усиливается эффект уменьшения основного времени обработки τ с увеличением n .

Таблица 1. Расчетные значения отношения τ/τ_n

$\varepsilon_{сум}$	20	55	149	405	1102
τ/τ_n	6,3	13,7	29,6	67,3	157,3

Если в зависимости (1) не учитывать уменьшение фактической глубины шлифования в связи с возникновением в технологической системе упругого перемещения y , то зависимость (1) примет вид:

$$y = \frac{\sigma \cdot B_1 \cdot V_{дем} \cdot t}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} = \frac{t}{\left(\frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot B_1 \cdot V_{дем}} \right)} = \frac{t}{\varepsilon}, \quad (9)$$

где $\varepsilon = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot B_1 \cdot V_{дем}}$.

В данном случае уточнение на проходе круга ε принимает меньшее значение, чем в зависимости (1). В связи с этим важно установить, как это отразится на характере изменения основного времени обработки τ , определяемом следующей зависимостью:

$$\tau = \frac{n \cdot L \cdot \sigma \cdot B_1}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_{сум}^n}. \quad (10)$$

Исходя из зависимости (10), имеет место экстремум (минимум) основного времени обработки τ от n . Подчиняя зависимость (10) необходимому условию экстремума $\tau'_n = 0$, получено:

$$n = \ln \varepsilon_{сум}; \quad (11)$$

$$\tau_{min} = e \cdot \ln \varepsilon_{сум}, \quad (12)$$

где $e \approx 2,72$.

Таким образом установлено, что в точке экстремума функции τ уточнение на проходе круга $\varepsilon = e$, т. е. справедлива зависимость $\varepsilon_{сум} = t/y_n = e^n$.

Следовательно, экстремальное (минимальное) значение основного времени обработки τ в 2,72 раза больше минимально возможного значения τ_n , полученного для случая $n \rightarrow \infty$ (соответственно $\varepsilon \rightarrow 1$) и определяемого зависимостью (7).

В табл. 2 и на рис. 2 показан характер изменения основного времени обработки τ , установленного на основе зависимостей (5) и (10) с учетом $\frac{L \cdot \sigma \cdot B_1}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} = 1$

с, и уточнения $\varepsilon = \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}}$ от n . При обработке с $n=1 \dots 4$ имеет место значительное уменьшение параметров τ и ε , т.е. эффективно сьем припуска производить за несколько проходов круга.

Таблица 2. Расчетные значения τ и ε для $\varepsilon_{сум}=100$

n	1	2	3	4	5	20
τ , с, зависимость (5)	99	18	10,8	8,6	7,5	5,4
τ , с, зависимость (10)	100	20	13,8	12,6	10,5	25,4
ε	100	10	4,6	3,15	2,5	1,27

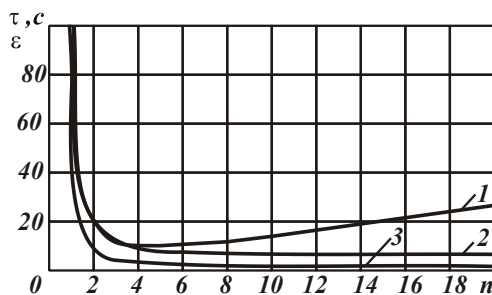


Рис. 2 – Зависимости τ и ε от n : 1, 2 – значения τ , рассчитанные по зависимостям (10) и (5); 3 – $\varepsilon = \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}}$

Для сравнения с расчетными данными, приведенными в табл. 1, в табл. 3 приведены расчетные значения отношения τ / τ_{min} и соответствующие им значения n в зависимости от суммарного уточнения $\varepsilon_{сум}$.

Таблица 3. Расчетные значения отношения τ / τ_{min} и n

$\varepsilon_{сум}$	20	55	149	405	1102
τ / τ_{min}	2,32	5,0	10,9	24,7	57,8
n	3	4	5	6	7

Как видно, отношение τ / τ_{min} в 2,72 раза меньше отношения τ / τ_n . Из этого вытекает, что зависимости (11) и (12) удобны для расчетов, поскольку на практике механическая обработка детали, как правило, осуществляется за несколько проходов круга n . Дальнейшее увеличение $n \rightarrow \infty$ при соответствующем уменьшении $\varepsilon \rightarrow 1$ и увеличении скорости детали $V_{дет} \rightarrow \infty$ позволяет приблизить основное время обработки τ к минимально возможному значению τ_n .

Однако осуществить это условие практически невозможно. Для этого требуется создание новых прогрессивных методов шлифования. Одним из них может быть метод шлифования с наложением на шлифовальный круг ультразвуковых колебаний в направлении перемещения круга. С физической точки зрения применение ультразвуковых колебаний приводит к тому, что шлифовальный круг условно как бы осуществляет обработку с чрезвычайно большими значениями скорости детали $V_{дет} \rightarrow \infty$ и $n \rightarrow \infty$. В итоге реализуется условие $\tau \rightarrow \tau_n$, а, следовательно, решается задача повышения точности и производительности обработки.

Необходимо отметить, что на практике, благодаря применению ультразвуковых колебаний шлифовального круга при шлифовании [6], достигнут значительный эффект с точки зрения повышения качества и точности обрабатываемых поверхностей, а также производительности обработки. Объясняется это проявлением различных физических факторов, но только не за счет уменьшением уточнения на проходе шлифовального круга $\varepsilon \rightarrow 1$, как это показано в настоящей работе. Поэтому, используя данное теоретическое решение, появляется возможность с новых теоретических позиций подойти к анализу эффективности практического применения ультразвуковых колебаний при шлифовании.

Еще одним эффективным направлением реализации чрезвычайно больших значений скорости детали $V_{дет} \rightarrow \infty$ и $n \rightarrow \infty$ следует рассматривать врезное круглое наружное (или внутреннее) шлифование по схеме выхаживания. Для этого необходимо рассматривать длину окружности цилиндрической детали условно равной длине обрабатываемой детали при плоском шлифовании. Тогда сьем припуска будет происходить за большое количество вращений детали, что соответствует большому количеству проходов круга при плоском шлифовании. Это обеспечивает выполнение условия $\tau \rightarrow \tau_n$ и, следовательно, достижение высоких показателей точности и производительности обработки, что подтверждается известными экспериментальными данными [6].

Несомненно, с этой точки зрения глубинное шлифование менее эффективно, поскольку сьем припуска осуществляется за один проход круга. Однако при глубинном шлифовании уменьшается вспомогательное время, затрачиваемое на реверсирование стола станка. В результате уменьшается штучное время обработки детали и повышается производительность обработки. Поэтому выбор наиболее рациональной схемы шлифования необходимо производить в каждом конкретном случае обработки с учетом требований по точности обрабатываемой детали и обеспечением максимально возможной производительности обработки.

Если фактическую глубину шлифования рассматривать суммой номинальной глубины шлифования t и величины упругого перемещения y ,

то зависимость (1) преобразуется в зависимость (9). В этом случае за один проход круга можно обеспечить заданную точность обработки без применения схемы выхаживания. Это повышает производительность обработки. Однако при этом возможно превышение фактической глубины шлифования заданной величины, что может привести к снижению точности обработки и браку изготавливаемой детали. Поэтому целесообразно шлифование производить с фактической глубиной шлифования, которая меньше номинальной глубины шлифования на величину упругого перемещения, т.е. в соответствии с зависимостью (3). В этом случае будет гарантированно обеспечиваться требуемая точность обработки, что имеет место на практике.

При финишной лезвийной обработке (например, точении и растачивании) съем припуска осуществляется по жесткой схеме и упругое перемещение увеличивается с каждым последующим проходом инструмента (рис. 1, а) по закону [5]:

$$y_n = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t}{\varepsilon^n}, \quad (13)$$

где $\varepsilon = 1 + \frac{c \cdot K_{рез}}{\sigma \cdot S}$ – уточнение на проходе инструмента; $K_{рез} = P_z / P_y$; S – подача, м/об.

Поэтому целесообразно обработку производить за один или несколько проходов инструмента. При этом важно увеличивать уточнение $\varepsilon \gg 1$ путем увеличения c , $K_{рез} = P_z / P_y$ и уменьшения σ и S . Однако уменьшение подачи S неэффективно в связи с уменьшением производительности обработки $Q = S \cdot t \cdot V$, где V – скорость резания, м/с. Следовательно, необходимо одновременно с уменьшением подачи S увеличивать скорость резания V , обеспечивая постоянство или даже увеличение производительности обработки. Данное условие использовано при создании эффективных технологий финишной лезвийной обработки, применяемых на практике. Это свидетельствует о достоверности полученных теоретических решений.

Выводы. Приведены аналитические зависимости для определения величины упругого перемещения, возникающего в технологической системе, и основного времени обработки при шлифовании и лезвийной обработке. Показана эффективность уменьшения основного времени обработки при заданной величине упругого перемещения путем существенного увеличения скорости детали, количества проходов шлифовального круга и уменьшения уточнения на проходе круга фактически

до единичного значения при шлифовании по схеме выхаживания. Показана также целесообразность осуществления выхаживания в несколько проходов круга с уточнением, равным числу $e \approx 2,72$. Доказано, что в этом случае основное время обработки больше минимально возможного значения в 2,72 раза. Для уменьшения основного времени обработки на эту величину предложено накладывать на шлифовальный круг ультразвуковые колебания в направлении подачи. Предложено также существенно увеличивать скорость детали при круглом врезном шлифовании, уменьшая уточнение на проходе круга фактически до единичного значения. Показано, что при лезвийной обработке одновременно уменьшить упругое перемещение и основное время обработки можно путем увеличения скорости резания.

Список литературы:

1. Лурье Г. Б. Прогрессивные методы круглого наружного шлифования / Г. Б. Лурье. – Ленинград: Машиностроение, 1984. – 103 с.
2. Колев К. С. Точность обработки и режимы резания / К. С. Колев, Л. М. Горчаков. – Москва: Машиностроение, 1976. – 144 с.
3. Новоселов Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю. К. Новоселов. – Саратов, 1979. – 232 с.
4. Ковальчук А. Н. Оптимизация структуры и параметров операций шлифования ответственных валов приводов шахтных конвейеров: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / А. Н. Ковальчук. – Одесса, 2008. – 21 с.
5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Т. 7. «Точность обработки деталей машин». – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с.
6. Захаренко И. П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / И. П. Захаренко. – Киев: Наукова думка, 1981. – 300 с.

References (transliterated)

1. Lur'ye G. B. Progressivnyye metody kruglogo naruzhnogo shlifovaniya [Progressive methods of circular external grinding]. Leningrad, Mashinostroeniye, 1984. – 103 p.
2. Kolev K. S., Gorchakov L. M. Tochnost' obrabotki i rezhimov rezaniya [Precision of processing and cutting conditions]. – Moscow, Mashinostroeniye, 1976. – 144 p.
3. Novoselov YU. K. Dinamika formoobrazovaniya poverkhnostey pri abrazivnoy obrabotke [Dynamics of surface formation during abrasive processing]. – Saratov, 1979. – 232 p.
4. Koval'chuk A. N. Optimizatsiya struktury i parametrov operatsiy shlifovaniya otvetstvennykh valov privodov shakhtnykh konveyerov: avtoreferat dis. na soiskaniye stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk: spetsial'nost' 05.02.08 «Tekhnologiya mashinostroeniya» [Optimization of the structure and parameters of grinding operations of critical shafts of mine conveyor drives: abstract of thesis. for the degree of candidate of technical sciences: specialty 05.02.08 «Technology of mechanical engineering»]. Odessa, 2008. – 21 p.
5. Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya [Physicomathematical theory of material processing processes and engineering technology] / Pod obshchey redaktsiyey F. V. Novikova i A. V. Yakimova. V desyati tomakh. – Tom 7. «Tochnost' obrabotki detaley mashin» [Vol. 7. «Precision of machining of machine parts»]. Odessa, ONPU, 2004. – 546 p.
6. Zakharenko I. P. Osnovy almaznoy obrabotki tverdosplavnogo instrumenta [Fundamentals of diamond processing of carbide tools]. Kiyev, Naukova dumka, 1981. – 300 p.

Поступила (received) 01.11.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Полянський Володимир Іванович (Полянский Владимир Иванович, Polyansky Vladimir) – кандидат технічних наук, Генеральний директор, ТОВ «Імперія металів», м. Харків; тел.: +38-067-57-80-906; e-mail: tools@imperija.com ; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5482-9955>